



University of Groningen

Mechanism of high-energy gamma-ray production in nuclear collisions

Hofmann, Harm Johannes

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1991

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Hofmann, H. J. (1991). Mechanism of high-energy gamma-ray production in nuclear collisions. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

SAMENVATTING

Voor lage gamma-energieën (≤ 10 MeV) vertoont het gemeten gammavervalspectrum van een geëxciteerde atoomkern diverse discrete lijnen die karakteristiek zijn voor de betreffende kern. Ter verklaring van de waargenomen structuren is het concept waarin ieder kerndeeltje (nucleon) min of meer onafhankelijk beweegt in een centrale potentiaalput succesvol. Een discrete gammalijn kan dan worden geïnterpreteerd als de overgang van een enkel nucleon vanuit een geëxciteerde toestand in deze potentiaalput naar een lager gelegen toestand onder uitzending van een foton.

Bij kernreacties, zoals die tot stand gebracht worden met versnelde ionen bijvoorbeeld afkomstig uit een cyclotron, kunnen de gevormde reactieproducten tot relatief hoge interne excitaties worden aangeslagen. Wanneer een kern zich in een hoge excitatietoestand bevindt is het aantal mogelijkheden om naar een lager gelegen toestand te vervallen zo sterk toegenomen dat het energiespectrum voor hoge gamma-energieën (≥ 10 MeV) continu lijkt. De energieverdeling voor de hoge gamma-energieën is nu niet meer specifiek voor de betrokken kern maar wordt bepaald door globale eigenschappen van de kern zoals massa, excitatie-energie en niveaudichtheid. Wanneer er thermisch evenwicht is kan analoog aan de uitzending van licht door een heet lichaam (zoals bijv. door de zon) ook aan een kern die gammastraling uitzendt een karakteristieke temperatuur worden toegekend. Deze temperatuur hangt af van de excitatie-energie per nucleon en de niveaudichtheid.

Naast de hierboven beschreven één-nucleonexcitaties bestaan er ook collectieve excitaties die kunnen worden opgevat als vibraties van de kern als één geheel, de zgn. reuzenresonanties. Voor ons werk is de reuzendipoolresonantie (GDR) de meest relevante. Het effect van de GDR op het gamma-energiespectrum van een aangeslagen atoomkern bestaat uit een zwakke modulatie voor gamma-energieën tussen 10 en 20 MeV van het eerder beschreven thermisch gammavervalspectrum.

Er ontstond grote belangstelling voor de detectie van gammastraling met een energie boven 30 MeV nadat metingen door Grosse et al. [Gro86a] erop duiden dat voor gammastraling met een dergelijk hoge energie de temperatuur van de kern significant hoger was dan wat

verwacht mocht worden op basis van één-deeltjes overgangen in de kern. Tendele zou dit kunnen komen doordat de invloed van een GDR-excitatie op het spectrum bij hoge gamma-energie was onderschat. Anderzijds zou deze gammastraling afkomstig kunnen zijn van een klein gedeelte van de kern dat relatief sterk verhit is. Echter een geheel andere verklaring is dat deze hoge-energie gammastraling wordt geproduceerd bij de plotselinge afremming van geladen deeltjes van het projectiel door de kernkrachten. De vraag rijst dan of bij deze afremming de kern zich gedraagt als één geheel of als een verzameling van losse nucleonen. Maar in beide gevallen ligt het moment van emissie van de fotonen in het eerste deel van het reactieproces. Daarmee zou d.m.v. de detectie van gammastraling met een hoge energie informatie verkregen kunnen worden over de dynamica van het reactieproces.

Het onderzoek beschreven in dit proefschrift is erop gericht om een antwoord te kunnen geven op enkele van de boven gestelde vragen. Daartoe is de gammastraling met een hoge energie gemeten zoals die in verschillende kernreacties wordt geproduceerd. Een aantal trefplaatjes werd beschoten met deeltjesbundels die door het cyclotron van het KVI tot 10 % en 20 % van de lichtsnelheid werden versneld. De hoge-energie gammastraling werd gedetecteerd met behulp van een grote NaI(Tl) spectrometer met een plastic anticoincidentieschild.

De meetresultaten verkregen door α -deeltjes met een bundelenergie van 120 MeV op trefplaatjes van respectievelijk Pb en ^{12}C te schieten zijn vergeleken met berekeningen gebaseerd op statistisch gammaverval van de gevormde kernen. Het bleek dat de gammastraling boven 30 MeV niet is te verklaren als het resultaat van thermische afkoeling van de betrokken reactieproducten. Ook metingen van gammastraling verkregen door een ^{16}O -bundel van 280 MeV op een Pb trefplaatje te schieten, wezen erop dat statistisch verval van de geëxciteerde reactieproducten slechts voor een klein deel verantwoordelijk zijn voor de productie van hoogenergetische fotonen (≥ 30 MeV). Uit de hoekafhankelijkheid van de vorm van de gemeten gamma-energieverdeling en de werkzame doorsnede bleek dat de bron die verantwoordelijk is voor de uitzending van deze fotonen zich met de halve bundelsnelheid voortbewoog. Uit deze waarnemingen werd geconcludeerd dat de hoogenergetische fotonen (≥ 30 MeV) waarschijnlijk worden geproduceerd door de plotselinge afremming ten gevolge van nucleon-nucleon botsingen in de eerste fase

van de reactie.

Een kwalitatieve selectie van de botsingsparameter kan worden verkregen door de multipliciteit van de veelvuldig in kernreacties geproduceerde laagenergetische fotonen in coincidentie met de hoge-energie gammastraling te meten. Een hogere multipliciteit correspondeert met een meer centrale botsing. Dergelijke metingen werden verricht door ^{16}O -deeltjes met een bundelenergie van 280 MeV op trefplaatjes van respectievelijk Pb en ^{118}Sn te schieten. Voor het ^{118}Sn trefplaatje werd eveneens een coincidentiemeting verricht bij een bundelenergie van 200 MeV. Om de anisotropie te kunnen bestuderen werden de coincidentiemetingen met een bundelenergie van 280 MeV uitgevoerd voor twee hoeken ($\vartheta_{\gamma} = 90^{\circ}$ en 53°).

Uit de metingen met het Pb trefplaatje werd afgeleid dat de bijdrage van hoogenergetische fotonen toenam naarmate de botsing meer centraal was en dat de hiermee geassocieerde temperatuur van de kernen voor een centrale botsing het hoogst was. Ook bij de metingen op het ^{118}Sn trefplaatje nam de relatieve bijdrage van de hoge-energie gammastraling toe naarmate de botsing meer centraal was. In dit geval was echter niet direct duidelijk dat de temperatuur van de betrokken kernen ook systematisch toenam. Voor beide experimenten bij een bundelenergie van 280 MeV bleek de waargenomen hoge-energie gammastraling in het laboratoriumsysteem meer anistroop te worden naarmate de kernbotsing meer centraal was. De waargenomen anisotropie was consistent met de isotrope emissie door een systeem dat beweegt met halve bundelsnelheid. Eveneens was bij de experimenten met deze bundelenergie een scherpe structuur rond 15.5 MeV te zien die relatief het sterkst was voor botsingen met een grote impactparameter. Op basis van de waargenomen Dopplerverschuivingen kon deze specifieke structuur worden toegeschreven aan het gammaverval van excitaties in de projectielachtige fragmenten.

De gemeten gamma-energiespectra voor de centrale botsingen zijn vergeleken met berekeningen gebaseerd op het statistisch verval van een geëxciteerde kern. Ook wanneer de onzekerheden in de massa, excitatie-energie en niveaudichtheid van de oorspronkelijke kern in aanmerking worden genomen, moet worden geconcludeerd dat de gemeten gammastraling voor hoge energieën (≥ 30 MeV) niet afkomstig is van

thermisch afkoeling. Bij deze modelberekeningen is expliciet rekening gehouden met de invloed van de aanwezigheid van een GDR-excitatie bij lagere gamma-energieën en het statistisch gammaverval t.g.v het zgn. quasi-deuteron mechanisme. Uit het gemeten gammavervalspectrum bleek eveneens dat, in tegenstelling met wat verwacht werd op basis van metingen bij lage kerntemperaturen, de breedte van de GDR-excitatie in het $^{16}\text{O} + ^{118}\text{Sn}$ systeem voor hoge bundelenergieën niet verder toeneemt maar een constante waarde bereikt. Voor het $^{16}\text{O} + \text{Pb}$ systeem is het effect van het optreden van splijting van dit systeem en de invloed van het gammaverval van de geëxciteerde splijtingsfragmenten op het uiteindelijk resulterend gamma-energiespectrum nader bestudeerd. Hoewel dit verschijnsel geen significant effect heeft op de verdeling van hoge-energie gammastraling (≥ 30 MeV) is zij wel degelijk belangrijk voor gamma-energieën in het gebied van de GDR-excitatie en lager (≤ 20 MeV). Met name is deze energieverdeling afhankelijk van de vorm van de massadistributie van splijtingsfragmenten.

De resultaten van de coincidentiemetingen vormde een verdere ondersteuning voor de hypothese dat hoge-energie gammastraling (≥ 30 MeV) voornamelijk geproduceerd wordt als gevolg van de nucleon-nucleon botsingen in de betrokken kernen voordat thermisch evenwicht is bereikt. De modellen waarin de gammastraling wordt geproduceerd door nucleon-nucleon botsingen in de eerste fase van het botsingsproces zijn in staat de gemeten werkzame doorsneden voor de hoge-energie gammastraling binnen een factor 3 te voorspellen.